心理学报 2023, Vol. 55, No. 11, 1−18
Acta Psychologica Sinica

https://doi.org/10.3724/SP.J.1041.2023.001

铜鼓经验对壮族鼓手的节奏知觉和执行功能的影响*

张 航[2] 王 婷[3] 冯晓慧[2] 韦义平[1] 张积家[1]
([1] 广西师范大学教育学部, 桂林 541004) ([2] 中国人民大学心理学系, 北京 110872)
([3] 中国人民大学新时代国际传播研究院, 北京 110872)

摘 要 节奏是声音序列在时间维度上的变化特征, 对产生和理解音乐旋律和言语韵律具有重要作用。通过 2 个实验考察壮族铜鼓音乐的“变奏”训练形式对壮族鼓手的音乐知觉和执行功能的影响。结果发现, 铜鼓训练组对节奏变化的感知能力显著优于控制组, 但两组被试对音高变化的感知能力无显著差异, 说明长期铜鼓训练使壮族鼓手的节奏分辨能力得到了特异性的塑造与强化。铜鼓训练组在抑制控制和工作记忆能力上具有显著优势, 但在转换能力上与控制组没有显著差异, 反映了铜鼓音乐训练对执行功能的各子成分的促进作用存在选择性。壮族铜鼓的音乐经验作为认知与文化交互作用的产物具有超越审美价值的功能属性, 体现为长期铜鼓音乐训练可以优化鼓手的节奏感知能力和执行功能。

关键词 节奏知觉, 壮族铜鼓音乐文化, 执行功能
分类号 B849: C91; B842

1 引言

节奏(Rhythm)是音乐在时间上的组织, 被喻为“音乐的骨架” (康健民, 2003; 晏成佺, 童忠良, 2006)。在音乐领域之外, 节奏还具有更宽泛的含义, 体现为自然界的律动和生命节律, 如呼吸和心跳, 生物繁衍和候鸟迁徙, 昼夜交替和四季更迭(Iversen, 2016; 欧阳玥, 戴志强, 2010), 甚至诗词歌赋的音韵和格律以及绘画中的明暗排列和疏密布局都富有鲜明的节奏变化(Hamilton, 2011)。节奏是自然界、人类社会和人类活动中具有周期变化的规律性的运动特征, 它既是生命行进的时序和韵律, 也是艺术的核心和灵魂。

1.1 节奏知觉及其功能

人类自古以来就一直从事与节奏相关的活动, 如击鼓、跳舞、唱歌和演奏乐器等(Kotz et al., 2018)。随律舞动, 听音摇摆, 更是跨越所有人类文化和音乐流派的重要特征(Savage et al., 2015)。即使是婴儿, 也对违反节奏的信息敏感(Honing et al., 2009), 并且跟随音乐的节奏产生同步性的动作(王天燕, 冯圣中, 2017; Zentner & Eerola, 2010)。虽然节奏在自然界和人类社会中无处不在, 但是, 像人类这样可以跟随音乐节奏进行同步化肢体动作的能力在动物界中却很罕见。Fitch (2012)将这种现象称为“节奏悖论” (paradox of rhythm)。因此, 节奏知觉(rhythm perception)作为人类独有的天赋对人类高级认知功能发展具有重要影响。

节奏知觉涉及人类对声音在时间维度的表征和提取(Thaut et al., 2014)。人类无法忍受无明显节奏的连续声音流, 需要依据周期律或准周期律在连续声音信号中主动地提取节奏型。例如, 在圆舞曲中, “蹦恰恰蹦恰恰蹦恰恰.....”节奏型被听者自动切分为多个三拍的“蹦恰恰”, 而不是其它非周期性组合或连续声音流(Cooper & Meyer, 1960), 这种现象

收稿日期: 2022-11-10
王婷为本文共同第一作者
通信作者: 张积家, E-mail: Zhangjj1955@163.com; 韦义平, E-mail: Wypjky@126.com

被称为节奏范畴化知觉(categorical rhythm perception) (Krumhansl, 2000)。节奏范畴化知觉使人类具有组织和切分时序信息的能力，它是一种先天性的普遍机制。例如，不同文化背景的人对非等时性声音序列的节奏范畴化知觉通常遵循简单整数比原则(如 1 : 2 或 1 : 2 : 2 等) (Jacoby & McDermott, 2017)。不同语言的交流节奏通常为 3~8 个音节/每秒(3~8 Hz) (Greenberg et al., 2013)，范围恰好与人类自然运动(包括舌头、上颚、脸颊和嘴唇)的节奏吻合(Fujii & Wan, 2014; Peelle & Davis, 2012)，说明人类加工基础型节奏的能力是天生的。但这并不意味着个体间的节奏加工水平没有差异，受过长期音乐训练或是生活在特定音乐文化环境中的人通常具有更强的节奏知觉能力。

1.2 音乐经验对节奏知觉的影响

大量研究证实，长期音乐训练显著改善节奏知觉能力(如 Bailey & Penhune, 2010; Smith, 1983)和同步动作的能力(如 Repp, 2010; Repp & Doggett, 2007)，甚至仅需要 8 天的短暂学习，训练组在节奏分辨时诱发的 MMN 和 P2 波幅就显著大于控制组(Lappe et al., 2011)。尽管有证据表明音乐家在处理节奏方面有优势，但不清楚特定器乐练习是否会显著提升节奏知觉能力。因为与一般音乐训练研究比，涉及单独器乐训练的研究很少，结论也不一致。Cameron 和 Grahn (2014)发现，打击乐演奏家在节奏复现中表现优于其它器乐类型的演奏家及非音乐家，但 Matthews 等人(2016)并未发现打击乐演奏家比其它器乐(键盘乐，弓弦乐)演奏家具有明显的节奏加工优势，仅在一项较难的节奏同步任务中发现打击乐演奏家表现更好，说明只有在较复杂的节奏任务中，打击乐演奏家的训练优势才得以展现。这些研究主要关注西洋打击乐器的训练效果，通常使用标准化的节奏符号和节拍器指导演奏。相比之下，具有中国民族特色的打击乐器(如钹、锣、铜鼓等)一般使用传统的节奏模式或技法口诀指导演奏(萧梅, 2016)。这些乐器训练过程在节奏特征、节奏复杂度和表达形式上与西洋打击乐器存在较大差异。中国传统民族打击乐训练经验是否也促进训练者的节奏知觉能力，目前仍然缺乏充分的证据。

1.3 音乐经验对执行功能的影响

执行功能(executive function)是参与人类认知活动的总调控机制(Carlson et al., 2013)。有证据表明，音乐训练是提高执行功能的有效方法。这与音乐演奏需要广泛地调动听觉区、视觉区及辅助运动区等多个系统有关。长期音乐训练可以提高这些区域的整合与协调能力，增强感觉皮层和运动皮层间的功能连接(Pinho et al., 2014)。Miyake 等人(2000)发现，执行功能并非是单一的认知结构，它是多种认知功能的集合，包含抑制控制(inhibitory control)、工作记忆更新(working memory updating)和认知灵活性(cognitive flexibility)。三种子成分虽互有联系，又存在本质区别和功能分离(Friedman & Miyake, 2017; He et al., 2021)。抑制控制是指克服外部信息干扰从而有效地完成目标任务的能力(Diamond, 2013)。音乐训练对抑制控制的积极作用已经在儿童(Degé et al., 2011; Moreno et al., 2011)、成人(Bialystok & Depape, 2009; Travis et al., 2011)和老年人(Seinfeld et al., 2013)身上得到证实。音乐家在演奏中需要投入和专注，尤其是在与他人合作演奏时，必须克服来自同伴演奏信息的干扰，这些过程都对抑制控制能力提出了要求。工作记忆更新是指对工作记忆中的信息不断更新和修正的持续性的监控过程。由于工作记忆容量有限，要保证高效运作必须移除过时或与目标任务无关的信息。音乐家在 N-back 任务中的表现优于非音乐家(Pallesen et al., 2010)。这是因为在音乐演奏中，不仅需要视觉空间模板对要弹奏的乐谱信息进行储存和规划，还要在语音环路中实时监控演奏效果(陈杰 等, 2017)。转换能力是指在不同认知任务或思维状态间切换的能力，也称为认知灵活性(Miyake et al., 2000)。关于音乐训练与转换能力的关系存在争议。Hanna-Pladdy 和 MacKay (2011)表明，音乐家在转换能力上具有优势，但也有人发现，音乐家与非音乐家在转换能力上无显著差异(陈杰 等, 2017; Gade & Schlemmer, 2021; Okada & Slevc, 2018; Slevc et al., 2016; 王婷 等, 2019)。音乐经验对执行功能的不同子成分存在选择性的影响。

与一般音乐经验影响执行功能的研究比，打击乐训练经验影响执行功能的研究少。已有研究仅涉及对执行功能单个子成分的影响。Slater 等人(2018)使用 EEG 技术考察打击乐演奏家对音乐节奏的加工能力及与抑制控制的关系，发现打击乐演奏家比非打击乐演奏家在节奏任务和抑制控制任务中表现更好，打击乐演奏家对音乐节奏的神经追踪能力显著预测抑制控制任务的成绩，说明节奏知觉能力的提升促进抑制控制能力的发展，提示节奏知觉和抑制控制的神经机制可能存在重叠。证据表明，小脑、基底节和皮层运动区共同负责参与节奏知觉和

抑制控制(Akshoomoff, et al., 1997; Allen et al., 1997; Buschman & Miller, 2014; Graybiel, 1997; Kotz et al., 2009)。可能的原因是, 节奏加工需要在复杂的时间框架内精确地协调运动, 认知、运动和时间处理都依赖共享的神经环路来协调神经活动和控制行为。大脑运动系统也不局限于运动协调, 还兼具计时和预测功能。所以, 依赖计时功能的节奏知觉和依赖预测功能的执行控制必然涉及共同的神经基础。节奏夹带(rhythmic entrainment)理论认为, 节奏知觉能力训炼可以促进执行功能水平(Miendlarzewska & Trost, 2014)。节奏夹带是听者的神经活动与音乐节奏同步为一个共同的相位和/或周期性的现象(Clayton et al., 2004; Kirschner & Ilari, 2014)。强化节奏知觉能力有助于提升训练者对复杂时序信息特征的提取能力, 使有限的注意资源集中在与任务相关的时间维度上, 优化执行功能(Large & Jones, 1999; Miller et al., 2013)。考虑到打击乐训练经验与节奏知觉能力关联最为密切, 笔者假设: 长期打击乐训练特别是中国传统民族打击乐训练可对执行功能发展带来益处。

1.4　壮族铜鼓音乐文化及其节奏类型特征

铜鼓是中国古代青铜文化的瑰宝, 集冶炼、铸造、美术和音乐等多项工艺为一体。作为最早铸造和使用铜鼓的民族之一, 壮族不仅将铜鼓延展为具有特殊社会意义的打击乐器, 还将铜鼓音乐的节奏艺术特色发挥到了极致。以“变奏”为鲜明特征的东兰铜鼓音乐已经成为红水河沿岸壮族村寨展现民族文化和精神气韵的特殊符号, 充分反映了当地人民独特的节奏性思维。

东兰铜鼓的演奏方法和形式非常考究。一般以四面铜鼓为一组, 包括两面公鼓和两面母鼓, 寓意着阴阳和谐。在演奏前, 先将铜鼓悬挂于架子上, 鼓手站在铜鼓腰侧, 左手持石子或金属片等硬物, 均匀有规律地敲击铜鼓腰身, 保持声音清脆统一; 右手执鼓槌, 敲击鼓面上的太阳纹(见图 1b 和图 1c)。在合奏中, 鼓点均以 2/4 拍为基本节奏型, 演奏速度以第一面鼓的拍速为准, 但鼓手间的敲击步调不重合, 而是形成彼此咬合的交错节拍。在敲击基本鼓点时(当地人称为“敲单”), 四名鼓手需要依次入列, 以相隔半拍的节奏轮番敲击, 由于每面铜鼓的音色和音高各异, 听起来像是一个“铛、空、叮、咚”四个声部合奏, 升腾跌宕, 对错成韵。“敲单”只是拉开铜鼓表演的序幕, 真正令人惊叹的是不断加花(当地人称为“敲花”)的变奏技术。如“花四”是将原有节奏变为由两面铜鼓为一组的相隔一拍的轮番敲击形式, 由于鼓点时值加密, 音响加厚, 演奏更抑扬顿挫, 气势磅礴, 这种“敲花”形式还有多种(包括“花六”、“花七”、“花四 1”和“花四 2”), 每次









图 1　中国首批非物质文化遗产——壮族铜鼓习俗

注: 图 1a 标注了“世界铜鼓之乡”——河池市东兰县的地理位置, 该县位于桂西北, 红水河中游, 是壮族人民聚居区, 村寨几乎都有铜鼓, 是壮族铜鼓文化的典型代表; 图 1b 展示壮族铜鼓的精湛工艺, 上面饰有青蛙雕像, 是一种图腾文化崇拜, 寓意风调雨顺, 五谷丰登; 图 1c 展示东兰音乐铜鼓的演奏场景, 四名鼓手敲击的鼓声, 对错成韵, 此起彼伏, 节奏变化形式丰富; 图 1d 是红水河第一湾的“U”字型大峡谷, 奇异的形态与铜鼓形状非常契合, 东兰人认为铜鼓是吉祥物, 反映民族心理与地理环境的关联; 图 1e 是联合国世界文化遗产名录——广西左江花山岩画(局部), 生动描绘了 3000 多年前壮族祖先敲打铜鼓的场面。

敲击都在原有节奏基础上进行复杂的变奏(邢磊, 2010)。所以, 东兰铜鼓音乐的最鲜明特色就是丰富的节奏变化, 充分体现演奏者的高超技艺水平。这种合奏形式考验鼓手对节奏信息的精准把握, 一旦变奏环节出错, 就影响了整体和谐性。因此, 长期铜鼓训练可能促进鼓手的音乐知觉和高级认知功能的发展。

铜鼓是壮民族的艺术瑰宝。但已有研究往往侧重分析铜鼓艺术的审美价值, 忽视其在辅德、益智和健体方面的价值。作为本土特有的器乐表演形式, 东兰铜鼓音乐更追求节奏的异步性和变化性, 与集体同步的音乐艺术比更有特色, 对节奏知觉水平要求更高。研究 1 基于铜鼓的“变奏”特征考察铜鼓音乐经验对节奏知觉能力的影响。尽管铜鼓属于偏重节奏训练的打击乐器, 但作为一种综合性音乐活动, 长期铜鼓训练也可能对其它音乐知觉能力(如音高知觉)产生影响。而且, 有关音高和节奏的加工机制是否独立仍存在争议: 有研究者认为, 二者的加工机制存在功能性分离(Albouy et al., 2020; Zatorre et al., 2002), 但也有研究者发现, 二者相互作用并共享某些神经基础(Jones et al., 2002, 2006; Lagrois & Peretz, 2019)。还有研究发现, 在早期加工阶段音高和节奏分别处理, 在晚期加工阶段存在相互作用(Zhang et al., 2019)。因此, 本研究也考察铜鼓音乐经验是否影响音高知觉能力。

节奏夹带理论认为, 节奏知觉能力强化是音乐训练促进执行功能发展的重要原因(Miendlarzewska & Trost, 2014)。无论是打击乐演奏家还是非打击乐音乐家, 都在长期音乐训练中获得了良好的感觉统合协调能力、精细的运动技能水平及精准的时序加工水平, 这些能力发展对执行功能至关重要。目前, 节奏知觉训练研究主要集中在西洋乐器上, 尚不清楚中国传统民族乐器的训练经验对执行功能的影响。作为我国重要的民族打击乐, 东兰铜鼓音乐以独特的节奏特色著称(何洪, 1994), 因而是研究本土化器乐训练效果的理想对象。

东兰铜鼓音乐演奏需要四个人密切配合, 鼓手必须精准地将自己的节奏嵌入其他鼓手的节奏中, 并且克服节奏同步化效应的本能影响, 所以必须具备良好的冲突监控和抑制能力。由此假设: 铜鼓训练可以提高鼓手的抑制控制能力。铜鼓音乐演奏蕴含丰富的节奏变化, 很考验鼓手的持续监控能力, 以保证在“加花”变奏情况下及时调整节奏。由此假设: 铜鼓演奏者在工作记忆更新能力上存在加工优势。由于东兰铜鼓音乐没有系统的鼓谱记录, 传承和教授方式靠口传心授, 在实际演奏中无视奏形式的乐谱辅助, 更考验鼓手的临场应变能力。但是, 关于音乐训练是否影响转换能力一直存在争议。所以, 研究 2 将在研究 1 基础上进一步探索铜鼓音乐经验是否选择性地影响执行功能的不同子成分。

东兰素有“中国民间铜鼓艺术之乡”之称, 是全世界民间传世铜鼓分布最密集的地区。红水河沿岸的壮乡, 村村都有铜鼓, 铜鼓音乐表演也是当地人民的节庆习俗。在逢年过节和举办重大活动时, 必然击鼓相伴, 烘托氛围, 是当地现存文化的活态见证。本研究对东兰铜鼓音乐文化中独特的“变奏”艺术形式进行考察, 揭示铜鼓音乐经验对促进鼓手认知能力发展的积极效果, 为深入发掘铜鼓音乐文化的超越审美的价值功效和教育意义提供证据。

2 实验 1: 铜鼓经验对节奏知觉的影响

2.1 实验 1a: 铜鼓经验对壮族鼓手节奏加工能力的影响

2.1.1 被试

实验在广西东兰县长江镇兰阳村开展, 该地位于桂西北、红水河中游, 是壮族铜鼓文化保存最完好和最有代表性的区域之一(图 1a)。在实验开展前, 采用 G*power V3.1 软件根据不同实验类型计算预估样本量。在独立样本 t 检验中(本文研究 1), 一般认为理想的统计检验力和效应量均需高于 0.8 (Cohen, 1988), 将效应量设置为 f = 0.8, α 设置为 0.05。计算显示, 为了达到 0.8 的统计检验力, 至少需要 52 人。在混合实验设计中(本文研究 2), 参考指导手册(Faul, et al., 2007), 将效应量设置为 f = 0.25, α 设置为 0.05。计算显示, 为了达到 0.8 的统计检验力, 至少需要 24 人。根据预估样本量, 通过向当地村民宣传与介绍, 共招募了 58 名被试。在实验中, 2 人因无法通过练习实验被剔除, 4 人未坚持完成全部实验中途退出。剩余 52 名有效被试的数据用于正式分析。26 人(49.88 ± 15.98 岁)接受过传统非定音的铜鼓音乐训练, 未接受过定音铜鼓或其它类型的音乐训练(或表演)。铜鼓训练和表演总时长均大于 4 年, 平均每月都有表演, 节庆时表演频繁。26 人(47.77 ± 12.62)从未接受过任何有关铜鼓训练, 也未接触过其它形式音乐训练。两组被试在年龄、性别、学历、社会经济(月收入)和认知功能健康程度等方面严格匹配(见表 1)。认知功能健康

程度测量采用蒙特利尔认知评估量表(Montreal Cognitive Assessment, MoCA) (Nasreddine et al., 2005), 包括视空间与执行功能、命名、记忆、注意、语言流畅、抽象思维、延迟记忆和定向力 8 个方面的认知评估, 共计 30 分。结果显示, 铜鼓组与非铜鼓组的认知功能健康程度不存在显著差异($M_{铜鼓组}$ = 26.85, $M_{非铜鼓组}$ = 26.23, $t(50) = 0.83$, $p = 0.41$)。实验约需 60 分钟, 给予每位被试 50 元作为报酬。

表 1　被试的基本信息

类别	铜鼓组	非铜鼓组
人数	26 人	26 人
性别	25 男, 1 女	25 男, 1 女
年龄	49.88 ± 15.98	47.77 ± 12.62
民族	壮族	壮族
鼓龄	3~4 年 13 人 5~10 年 7 人 大于 10 年 6 人	未受过训练和表演
学历	初中及以下 20 人 高中及以上 6 人	初中及以下 20 人 高中及以上 6 人
月收入	小于 1000 元 6 人 1000~3000 元 9 人 3000~5000 元 5 人 大于 5000 元 6 人	小于 1000 元 9 人 1000~3000 元 9 人 3000~5000 元 2 人 大于 5000 元 6 人
MoCA 分	26.23 ± 3.19	26.85 ± 2.05

2.1.2　材料

为了降低音乐专业背景和材料熟悉性的影响, 选取了 2 个正弦波纯音: A#3 (233 Hz)和 C#4 (277 Hz)。两个音都可以在舒适音域内用钢琴演奏。声音材料使用 Adobe Audition CS6 制作, 采样率 44100 Hz, 每秒传输率 16 bit, 音强 60 dB, 时长统一固定为 400 ms, 包括前后各 10 ms 的淡入和淡出效果, 避免声音呈现中出现爆音。声音文件保存为无压缩.wav 格式。

2.1.3　程序

程序采用 E-prime 2.0 编制, 在笔记本电脑(型号: LENOVO LEGION Y7000P)上运行。声音刺激通过挂耳式耳机(型号: Panasonic, RP-HS47GK)以舒适的音量双耳呈现, 在安静房间中测试(下同)。采用持续性动态知觉判断任务考察被试对节奏变化的探测能力, 要求判断连续呈现的声音刺激的起奏间隔(Inter Onset Interval, IOI)与上一个比是否发生了变化, 变化了按 D 键, 未变化不按键。实验流程见(图 2a)。前 4 个声音刺激在初始阶段以 500 ms 起奏间隔呈现, 从第 5 个声音刺激开始, 起奏间隔随机发生变化, 或者以 0 ms 变化量保持匀速, 或者以 100 ms 或 200 ms 的变化量加速或减速。每次声音节奏发生变化后, 都至少跟随一个匀速不变的起奏间隔, 以防止被试因节奏的连续变化出现慌乱和按键不及时。任务包含 181 试次, 分为两个区间, 区间 1 选取 A#3 (233 Hz)为声音刺激, 区间 2 选取 C#4 (277 Hz)为声音刺激, 以避免相同声音多次重复引发疲劳效应, 两个区间中间有至少 30 s 的休息。为了检验任务难度影响, 起奏间隔变化包含两个水平, 变化量为 ΔT = 200 ms 的中等任务难度水平和变化量为 ΔT = 100 ms 的较高任务难度水平。节奏探测任务只记录按键反应的击中率, 并且将有效击中的时间范围限定在第 n 个音结束后到第 n+2 个音开始前($n > 5$), 因为第 n 个音后面必然跟随一个匀速不变的音(n+1), 这样不仅可以增加一次听音的机会, 还可以防止因截取时间过短导致有效反应被错误计算到到下一变化区间。实验包含 40 次变化, 变化的方向增减各半。数据采用 SPSS 25.0 软件分析, 图片采用 ChiPlot 绘图软件制作(https://www.chiplot.online)。

2.1.4　结果与分析

在不区分任务难度情况下, 铜鼓组的总击中率显著高于非铜鼓组($M_{铜鼓组}$ = 0.43 ± 0.15, $M_{非铜鼓组}$ = 0.33 ± 0.20), $t(50)$ = 2.05, p = 0.046, Cohen's d = 0.58。在区分任务难度情况下, 任务难度与组别的交互作用边缘显著($F(1, 50)$ = 3.07, p = 0.086, η^2 = 0.06), 铜鼓组在中等任务难度中(ΔT = 200 ms)击中率显著高于非铜鼓组($M_{铜鼓组}$ = 0.59 ± 0.19, $M_{非铜鼓组}$ = 0.44 ± 0.23, $t(50)$ = 2.50, p = 0.016, Cohen's d = 0.71), 但在较高任务难度中(ΔT = 100 ms), 两组被试的击中率没有显著差异($M_{铜鼓组}$ = 0.28 ± 0.18, $M_{非铜鼓组}$ = 0.23 ± 0.21, p = 0.34)。见图 2b。

基于信号检测论方法计算辨别力指数 d'。结果发现, 在不区分任务难度时, 铜鼓组的辨别力显著高于非铜鼓组($d'_{铜鼓组}$ = 0.13 ± 0.05, $d'_{非铜鼓组}$ = 0.09 ± 0.06, $t(50)$ = 2.54, p = 0.014, Cohen's d = 0.72)。在区分任务难度时, 铜鼓组的辨别力在中等任务难度中显著高于非铜鼓组($d'_{铜鼓组}$ = 0.19 ± 0.07, $d'_{非铜鼓}$ = 0.13 ± 0.08, $t(50)$ = 2.66, p = 0.011, Cohen's d = 0.75), 但在较高任务难度中, 两组被试的辨别力无显著差异($d'_{铜鼓组}$ = 0.08 ± 0.06, $d'_{非铜鼓组}$ = 0.05 ± 0.06, p = 0.16)。

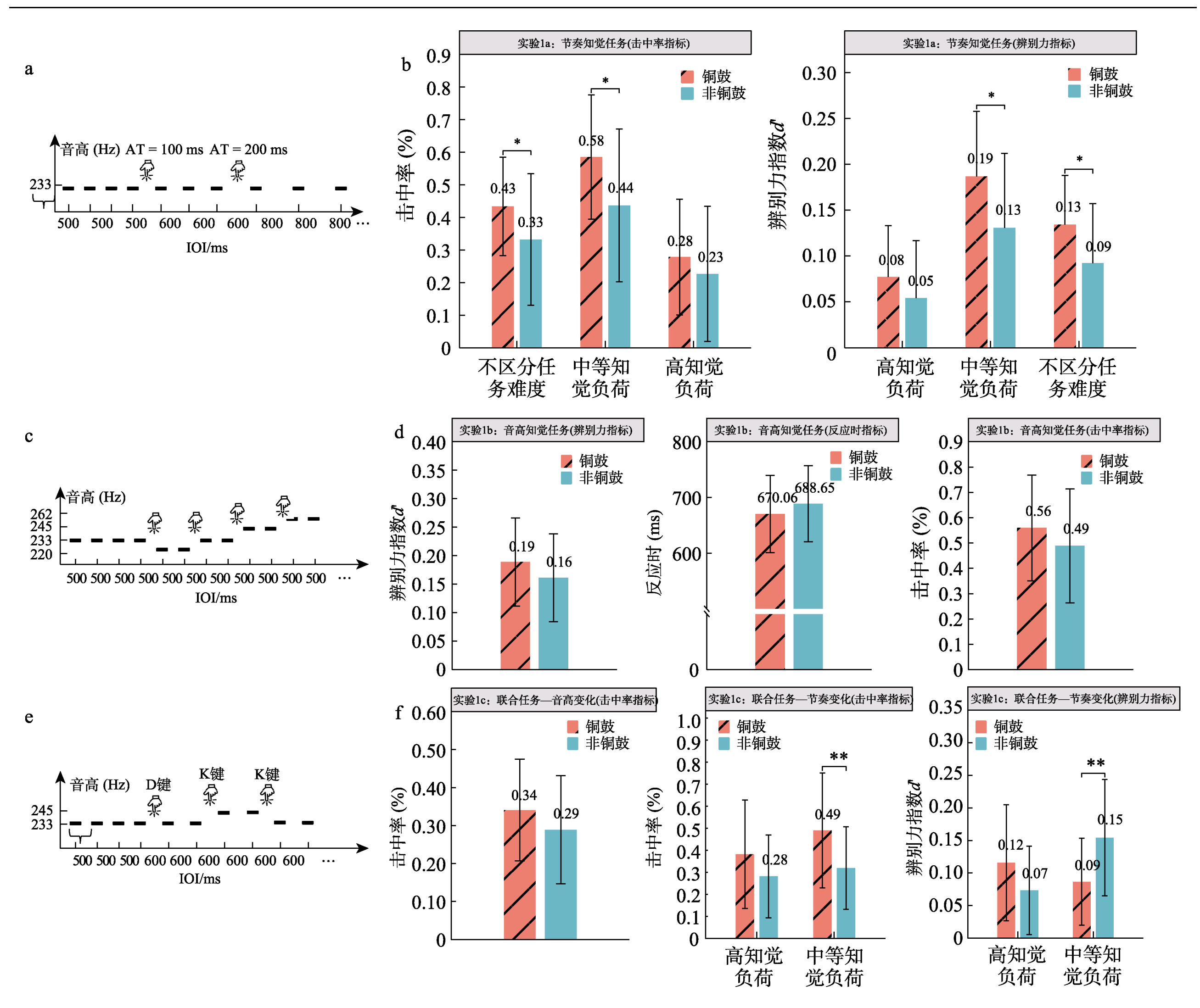


图 2 研究 1 流程图和结果

注：图 2a 为节奏变化探测任务流程图；图 2b 为节奏变化探测任务结果，左侧图以击中率为指标，右侧图以辨别力指数 d'为指标；图 2c 为音高变化奏探测任务流程图；图 2d 为音高变化探测任务结果图，左侧图以反应时为指标，中间图以击中率为指标，右侧图以辨别力指数 d'为指标；图 2e 为音高—节奏联合探测任务流程图；图 2f 为联合任务结果图，左侧图以音高变化任务的击中率为指标，中间图以节奏变化的击中率为指标，右侧以节奏变化的辨别力指数 d'为指标。柱状图误差线代表该条件下均值的标准差。显著性：* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$。

2.1.5 小结

实验 1a 采用节奏知觉范式考察不同任务难度下铜鼓音乐训练对壮族人节奏加工能力的影响。结果发现，在中等难度任务中，铜鼓组对节奏变化的知觉水平显著高于非铜鼓组，说明长期铜鼓训练和演奏的经历显著提高了壮族鼓手对声音节奏变化的觉察能力。东兰铜鼓音乐的最主要特色之一就是节奏的丰富变化，在合奏中，每名鼓手除了需要专注于自己的节奏特征外，还要时刻注意和追踪他人的节奏变化，以保持音序稳定，不抢节拍。

铜鼓组被试除了具有学习和演奏铜鼓的经历外，均无接触和练习其它乐器的经历，更不懂得乐理知识。所以，与控制组相比，铜鼓组虽然在节奏知觉存在加工优势，但尚不清楚铜鼓训练对其它音乐成分(如音高)加工是否具有类似的促进效果。以往研究发现，人脑对音高和节奏的加工过程是相对独立的(Alcock et al., 2000; Bengtsson & Ullén, 2006)。所以，长期非定音的铜鼓训练可能不会促进对音高的感知能力。因此，本研究将考察铜鼓训练与音高知觉的关系，深入分析铜鼓音乐训练对音乐加工能力的影响是具有领域特殊性还是具有领域一般性。

2.2 实验 1b：铜鼓经验对壮族鼓手的音高加工能力的影响

2.2.1 被试和实验材料

被试同实验 1a。实验材料是在实验 1a 的两个

纯音基础上再选取 5 个正弦波纯音，组成了 7 个有连续半音变化的音阶：A3 (220 Hz)、A#3 (233 Hz)、B3 (245 Hz)、C4 (262 Hz)、C#4 (277 Hz)、D4 (294 Hz)、D#4 (311 Hz)。材料制作过程和声音参数同实验 1a。

2.2.2　程序

采用持续性动态知觉判断任务考察对音高变化的探测能力，要求被试判断耳机中连续呈现的音高刺激与上一个比是否发生了变化，变化了按 D 键，未变化不按键。实验流程见图 2c，前 4 个声音刺激在初始阶段以固定音高呈现，从第 5 个声音刺激开始，音高或者保持不变，或者以半音的变化量升高或降低。而且，在每次音高发生变化后，都至少跟随一个固定音高，防止被试因为音高的连续变化而出现慌乱和按键不及时。任务包含 184 试次，分为两个区间，中间有至少 30 s 休息。每一次的音高变化量均为一个音级水平，实验包含 40 次变化，方向升降各半。所有的刺激均以 500 ms 起奏间隔呈现，以保持节奏恒定。

2.2.3　结果与分析

结果见图 2d。在反应时上，铜鼓组(670 ± 69 ms)与非铜鼓组(M = 689 ± 68 ms)之间不存在显著差异(p = 0.43)。在击中率上，铜鼓组(M = 0.56 ± 0.21)与非铜鼓组(M = 0.49 ± 0.23)之间也不存在显著差异(p = 0.24)。信号检测论分析也未发现两组被试间的显著差异($d'_{铜鼓组}$ = 0.19 ± 0.08, $d'_{非铜鼓组}$ = 0.16 ± 0.08, p = 0.19)。

2.2.4　小结

实验 1b 采用音高变化觉察任务考察铜鼓训练对壮族鼓手音高加工能力的影响，发现铜鼓训练对鼓手在音高加工方面没有显著的促进作用。这可能是由于音高加工主要反映听者对不同频率间声音变化的敏感性，而铜鼓演奏主要以训练鼓手对时间维度上节奏特征变化的知觉敏感性为主，较少涉及旋律方面的训练。为了进一步验证该结果的有效性，采用联合任务，同时要求被试注意节奏和音高的变化，以考察铜鼓音乐训练与二者之间的关联。

2.3　实验 1c：长期铜鼓训练对音高和节奏的联合知觉的影响

2.3.1　被试和材料

被试同实验 1a。节奏判断的实验材料同实验 1a，音高判断的实验材料同实验 1b。

2.3.2　程序

采用联合知觉判断任务考察对节奏变化和音高变化的探测能力，要求被试同时注意连续呈现的声音刺激的音高或起奏间隔与上一刺激比是否发生了变化，如果音高发生了变化按 K 键，节奏发生了变化按 D 键，音高和节奏均未变化不按键，按键顺序在被试间平衡。实验流程见图 2e。整个任务包含 369 试次，分为两个区间，共包含了 80 次变化，音高变化 40 次，每次变化量均为一个音级水平，变化方向升降各半；节奏变化 40 次，变化量包含 ΔT = 300 ms 的中等任务难度水平和 ΔT = 200 ms 的较高任务难度水平(由于联合任务认知负荷更高，将 300 ms 变化量描述为中等难度任务，将 200 ms 变化量描述为较高难度任务)，变化方向增减各半。

2.3.3　结果与分析

击中率分析表明(图 2f)，在音高变化条件下，铜鼓组与非铜鼓组差异不显著($M_{铜鼓组}$ = 0.34 ± 0.13, $M_{非铜鼓组}$ = 0.29 ± 0.14, p = 0.18)。在节奏变化条件下，被试组别与任务难度的交互作用边缘显著(F(1, 50) = 3.82, p = 0.056, η^2 = 0.07)，铜鼓组在中等难度任务中击中率(ΔT = 300 ms)显著高于非铜鼓组($M_{铜鼓组}$ = 0.49 ± 0.26, $M_{非铜鼓组}$ = 0.32 ± 0.19, t(50) = 2.73, p = 0.009, Cohen's d = 0.77)，但在较高难度任务中(ΔT = 200 ms)，两者之间不存在显著差异($M_{铜鼓组}$ = 0.38 ± 0.25, $M_{非铜鼓组}$ = 0.28 ± 0.19, p = 0.1)。

基于信号检测论比较发现，在音高变化条件下，铜鼓组与非铜鼓组不存在显著差异($d'_{铜鼓组}$ = 0.02 ± 0.08, $d'_{非铜鼓组}$ = 0.003 ± 0.08, p = 0.33)。在节奏变化条件下，铜鼓组在中等难度任务中(ΔT = 300 ms) d' 显著大于非铜鼓组($d'_{铜鼓组}$ = 0.15 ± 0.09, $d'_{非铜鼓组}$ = 0.09 ± 0.07)，t(50) = 3.10, p = 0.003, Cohen's d = 0.88；在较高难度任务中(ΔT = 200 ms)，两者的差异仅达到边缘显著($d'_{铜鼓}$ = 0.12 ± 0.09, $d'_{非铜鼓}$ = 0.07 ± 0.07), t(50) = 2.00, p = 0.051, Cohen's d = 0.57。

对音高和节奏两种条件的相互影响进行了分析。在 ΔT = 200 ms 节奏变化条件下，被试组别与项目类型的交互作用不显著，F(1, 50) = 0.82, p = 0.36；但在 ΔT = 300 ms 节奏变化条件下，被试组别与项目类型的交互作用边缘显著，F(1, 50) = 3.07, p = 0.066, η^2 = 0.07。简单效应分析表明，在节奏变化条件下，铜鼓组的成绩显著高于非铜鼓组(p = 0.009)，但在音高变化条件下，二者的成绩并无显著差异(p = 0.18)。

2.3.4　小结

实验 1c 发现，以节奏为主要特色的铜鼓音乐训练并不能够提升鼓手对音高的加工能力，说明节

奏经验在音乐领域不具有广泛的迁移效应。这可能是由于音高知觉和节奏知觉在音乐才能中是两个互不关联的成分，涉及音高加工和节奏加工的听觉功能区域是彼此分离的(Bengtsson & Ullén, 2006)。所以，单纯的节奏型训练不会提升个体的音高加工水平。节奏知觉主要是听者对时域特征信息的加工，音高知觉更多是对频域特征信息的加工，实验 1c 的结果很可能反映了听觉系统对音高加工和节奏加工存在不同的认知基础。

大量研究发现，音乐训练可以使个体的执行功能得到了提升和强化，但是，有关音乐训练与执行功能不同子成分之间关系至今仍存在着争议(Bialystok & Depape, 2009; Pallesen et al., 2010; Travis et al., 2011)，尤其是不清楚中国传统民族打击乐的训练经验对执行功能的不同子成分的具体影响。研究 2 将采用测量执行功能的经典实验程序和材料(Slevc et al., 2016; 王婷 等, 2019)，进一步探讨以丰富“变奏”形式著称的东兰铜鼓音乐的训练经验对执行功能不同子成分的塑造作用。

3　研究 2：铜鼓经验对壮族人听觉执行功能的影响

3.1　实验 2a：铜鼓经验对壮族人听觉抑制控制能力的影响

3.1.1　被试

同实验 1a。

3.1.2　材料和程序

语音材料使用 Adobe Audition 录制，由一位女发音人分别以高音高(753.56 Hz, D4)和低音高(180.13 Hz, D2)的形式朗读汉字“高”和“低”，生成了 4 个语音刺激，时长均为 550 ms。练习材料是同一发音人分别以高音(747.15 Hz, D4)和低音(177.44 Hz, D2)形式朗读“啊”的语音，时长同样为 550 ms。

实验流程见(图 3a)：首先在屏幕中央呈现

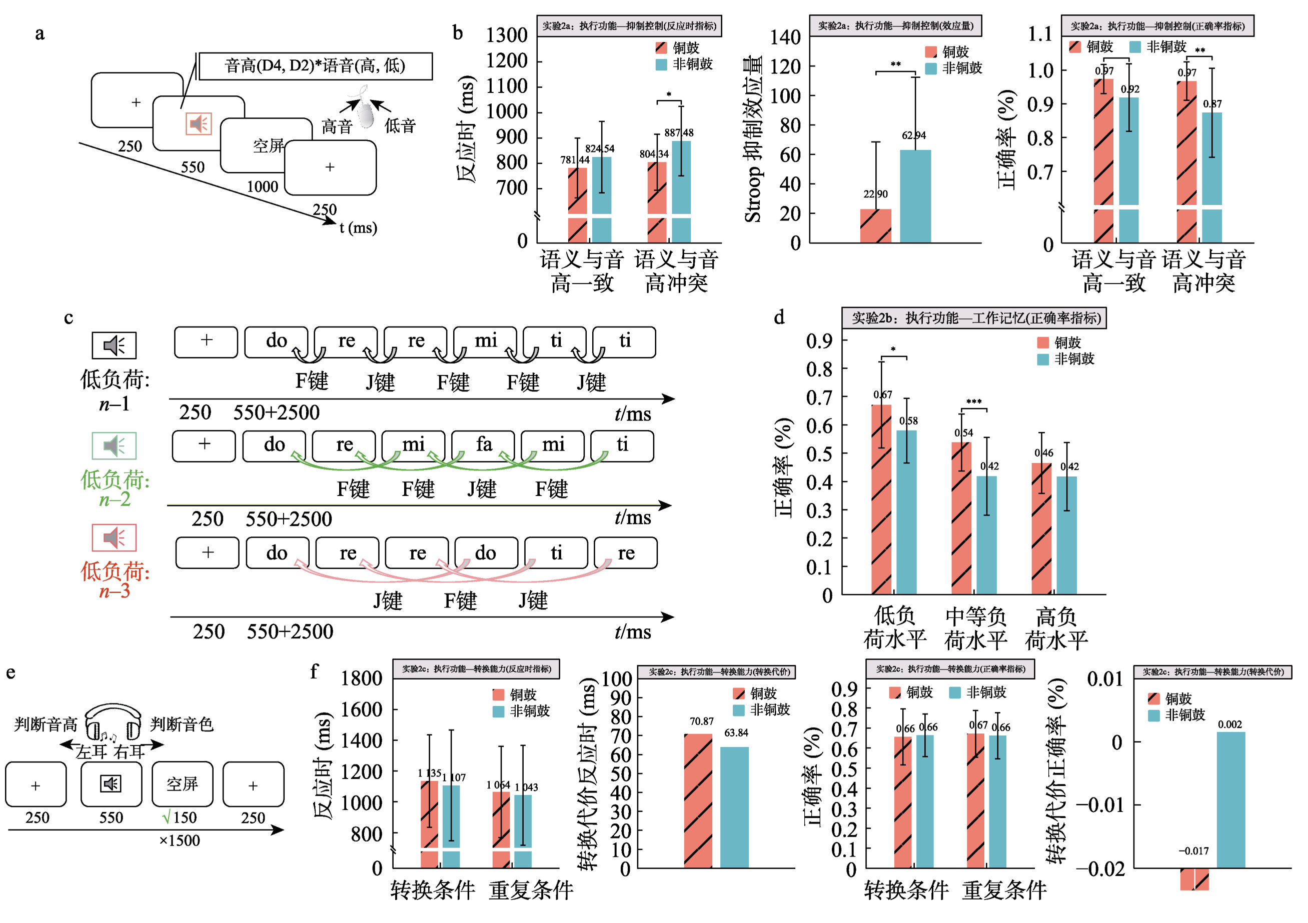


图 3　研究 2 流程图和结果

注：图 3a 为抑制控制(音高−语义 Stroop)任务的流程图；图 3b 为抑制控制任务的结果，左侧图以反应时率为指标，中间图以反应时的效应量为指标，右侧图以正确率为指标；图 3c 为工作记忆任务流程图；图 3d 为工作记忆任务的结果；图 3e 为转换任务流程图；图 3f 为转换任务的结果，左侧 1 图以反应时为指标，左侧 2 图是反应时的转换代价，右侧 2 图以正确率为指标，右侧 2 图是正确率的转换代价。柱状图误差线代表了该条件下均值的标准差。显著性：* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$。

250 ms 的“+”注视点, 然后呈现刺激 550 ms, 要求被试忽略语音的意义, 仅判断音高。低音点击鼠标左键, 高音点击鼠标右键, 按键方式在被试间平衡。每一语音刺激呈现都伴随着提示画面, 并在按键反应后消失, 如果被试在 2 s 内未做任何反应, 提示画面自动消失, 进入 1000 ms 的空屏缓冲, 随后进入下一试次。正式实验包含 96 试次, 语义−音高一致刺激和语义−音高冲突刺激各占一半。在实验开始前, 被试通过练习以熟悉流程, 练习材料是不包含语义信息的高音或低音的“啊”, 共有 10 试次。研究表明, 该实验材料和程序能够有效地测量抑制控制能力(Slevc et al., 2016)。

3.1.3　结果与分析

反应时的方差分析表明(图 3b), 被试类型的主效应边缘显著($F(1, 50) = 3.32$, $p = 0.074$, $\eta^2 = 0.06$), 铜鼓组的反应时($M_{铜鼓组} = 793 \pm 114$ ms)显著短于非铜鼓组($M_{非铜鼓组}$ 856 ± 141 ms)。实验条件的主效应显著($F(1, 50) = 42.28$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.46$), 语义与音高冲突时的反应时($M_{冲突} = 846 \pm 130$ ms)显著慢于语义与音高一致时($M_{一致} = 803 \pm 130$ ms)。被试类型和实验条件的交互作用显著, $F(2, 50) = 9.20$, $p = 0.004$, $\eta^2 = 0.16$。简单效应分析表明, 当语义与音高一致时, 铜鼓组($M_{铜鼓组} = 781 \pm 118$ ms)与非铜鼓组($M_{非铜鼓组} = 825 \pm 141$ ms)的反应时差异不显著($p = 0.24$); 当语义与音高冲突时, 铜鼓组的反应时($M_{铜鼓组} = 804 \pm 111$ ms)显著快于非铜鼓组($M_{非铜鼓组} = 888 \pm 137$ ms, $p = 0.02$)。计算两组被试的 Stroop 效应量, 即冲突条件与一致条件的反应时差值。t 检验表明, 铜鼓组的效应量显著小于非铜鼓组($M_{铜鼓组} = 23 \pm 46$ ms, $M_{非铜鼓组} = 64 \pm 50$ ms), $t = -3.08$, $p = 0.003$, Cohen's $d = 0.86$。

正确率的方差分析表明, 被试类型的主效应显著, $F(1, 50) = 10.45$, $p = 0.002$, $\eta^2 = 0.17$。铜鼓组的正确率($M_{铜鼓组} = 0.97 \pm 0.05$)显著高于非铜鼓组($M_{非铜鼓组} = 0.90 \pm 0.12$)。实验条件的主效应显著, $F(1, 50) = 6.49$, $p = 0.015$, $\eta^2 = 0.12$。语义与音高冲突时的正确率($M_{冲突} = 0.92 \pm 0.11$)显著低于语义与音高一致时($M_{一致} = 0.95 \pm 0.08$)。被试类型和实验条件的交互作用边缘显著, $F(1, 50) = 3.74$, $p = 0.059$, $\eta^2 = 0.07$。简单效应分析表明, 当语义与音高一致时, 铜鼓组的正确率($M_{铜鼓组} = 0.97 \pm 0.04$)显著高于非铜鼓组($M_{非铜鼓组} = 0.92 \pm 0.1$, $p = 0.014$); 当语义与音高冲突时, 铜鼓组的正确率($M_{铜鼓组} = 0.97 \pm 0.06$)也显著高于非铜鼓组($M_{非铜鼓组} = 0.87 \pm 0.13$, $p = 0.002$), 但二者的差距从 0.05 增大到 0.10, 说明非铜鼓组的成绩受语义干扰变差。

3.1.4　小结

实验 2a 的结果说明, 铜鼓音乐训练显著提高了鼓手的听觉抑制功能, 在语义−音高冲突时, 铜鼓组受到的干扰作用更小。东兰铜鼓演奏需要鼓手间的密切配合, 虽然在音乐类型上属于集体音乐形式, 但每名鼓手除了需要表征自己的节奏外, 更要克服同伴击鼓时带来的节奏干扰, 这就对大脑的抑制功能提出了更多要求。因此, 抑制控制功能在长期铜鼓训练下的积极变化很可能是鼓手在冲突任务中存在加工优势的重要原因。

3.2　实验 2b: 长期铜鼓训练对壮族鼓手工作记忆的影响

3.2.1　被试

同实验 1a。

3.2.2　材料和程序

为了减少专业音乐知识的影响, 声音材料由 8 个 C 大调音阶中的正弦声波音符组成, 包括: Do (261.6 Hz), Re (293.6 Hz), Mi (329.6 Hz), Fa (349.2 Hz), Sol (392 Hz), La (440 Hz), Ti (493.8 Hz), Do (523.3 Hz)。时长均为 500 ms。

采用听觉 N-back 范式考察铜鼓训练对工作记忆能力的影响(图 3c), 要求被试判断当前呈现的音符与它前面第 n 个音符是否相同。$n = 1$ 为低记忆负荷水平任务, 要求被试判断当前音符与它前一个相邻音符是否相同, 相同按 J 键, 不同按 F 键; $n = 2$ 为中记忆负荷水平任务, 要求被试判断当前音符与它前面第二个音符是否相同; $n = 3$ 为高记忆负荷水平任务, 要求被试判断当前音符与它前面第三个音符的异同。每个音符呈现时间为 500 ms, 然后有 2500 ms 的判断时间。每一负荷水平的正式实验都包括 3 个区间, 每个区间包括 n+20 个刺激, 20 个刺激里又包括 6 个目标刺激, 即与前面呈现的 n 个刺激匹配的音符, 每个区间内的刺激项目随机呈现。实验条件由易到难, 从低负荷任务开始, 到高认知负荷任务结束。每一负荷水平都包括练习实验。研究表明, 该实验材料和程序能够有效地测量工作记忆水平(Slevc et al., 2016)。

3.2.3　结果与分析

方差分析表明(见图 3d), 被试类型的主效应显著($F(1, 50) = 0.28$, $p = 0.002$, $\eta^2 = 0.17$), 铜鼓组的正确率(0.56 ± 0.19)显著高于非铜鼓组(0.47 ± 0.19)。记忆负荷水平的主效应显著, $F(2, 49) = 52.74$,

$p < 0.001$, $\eta^2 = 0.65$。低负荷水平的正确率显著高于中负荷水平($M_{低} = 0.63 \pm 0.14$, $M_{中} = 0.48 \pm 0.13$, $p < 0.001$)和高水平负荷($M_{高} = 0.44 \pm 0.12$, $p < 0.001$), 但高负荷水平和中负荷水平之间差异仅边缘显著($p = 0.052$)。被试类型和记忆负荷水平交互作用显著($F(2, 49) = 3.25$, $p = 0.047$, $\eta^2 = 0.12$)。Bonferroni 校正的事后分析表明, 在低负荷水平时, 铜鼓组的正确率显著高于非铜鼓组($M_{铜鼓组} = 0.67 \pm 0.15$, $M_{非铜鼓组} = 0.58 \pm 0.11$, $p = 0.019$, $\eta^2 = 0.11$); 在中等负荷水平时, 铜鼓组的正确率($M_{铜鼓组} = 0.54 \pm 0.10$)显著高于非铜鼓组($M_{非铜鼓组} = 0.42 \pm 0.14$, $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.21$); 但在高负荷水平时, 两组被试的成绩没有显著差异($M_{铜鼓组} = 0.47 \pm 0.11$, $M_{非铜鼓组} = 0.42 \pm 0.12$, $p = 0.14$)。

3.2.4 小结

采用更新任务证实铜鼓训练对鼓手工作记忆功能的促进作用。这种记忆更新能力提升可能是由铜鼓演奏的特点所致。铜鼓的敲击方式极具有观赏性, 每名鼓手敲击的节奏一般不在同一节拍上, 但交替在一起的鼓声却做到错落有致。更为重要的是, 铜鼓具有极流畅的变奏表演形式, 当第一面鼓的节奏发生变化后, 其它三面鼓都随之迅速地做出调整, 从原来的 XOOO, 变为 XOXO (或 XXOO、XXXO......), 加之每面铜鼓的音高各异, 但听起来像是一个多声部变奏交响曲, 非常悦耳动听。这种动态连续的节奏变化很考验鼓手的持续性注意追踪能力。因此, 铜鼓组被试在更新任务上的出色表现可能源于认知系统中负责加工、存储以及提取动态信息的执行功能子成分得到了训练和改善。

3.3 实验 2c: 长期铜鼓训练对壮族鼓手转换能力的影响

3.3.1 被试

同实验 1a。

3.3.2 材料和程序

采用 4 种乐器的电子录音作为刺激。两个是管乐声音(大号、长笛), 两个是弦乐声音(大提琴、小提琴), 每种器乐的声音分别包含高音(A5 和 C6)和低音(A2 和 F#2)两种音高形式。所有的声音刺激都同时具有音高(高、低)和音色(管乐、弦乐)两个维度。

采用可以预测交替运行范式(alternating-runs paradigm)考察转换能力(Rogers & Monsell, 1995; 王婷 等, 2019)。如(图 3e), 首先呈现 250 ms 的“+”注视点, 接着呈现 500 ms 的声音刺激, 如果声音出现在左耳, 被试判断音高, 低音按 M 键, 高音按 C 键; 如果声音出现在右耳, 被试判断音色, 管乐按 M 键, 弦乐按 C 键, 按键方式在被试间平衡。为了使任务转换可以预期, 每呈现两个声音后进行一次转换。若作答正确, 缓冲 150 ms 并进入下一试次, 若作答错误, 缓冲 1500 ms 后进入下一试次。正式实验包含 3 个区间, 每个区间包含 64 试次。练习分为三个阶段, 首先练习音高判断, 此时刺激只呈现在左耳, 正确率达到 80%以后练习音色判断, 此时刺激只呈现在右耳, 当正确率达到 80%以后进入转换练习, 此时与正式实验一致, 刺激在左右耳间转换, 正确率达到 80%以后进入正式实验。有研究表明, 该实验材料和程序能够有效地测量转换能力(Slevc et al., 2016)。

3.3.3 结果与分析

结果见图 3f。反应时的方差分析表明, 被试类型的主效应不显著($F(1, 50) = 0.08$, $p = 0.78$)。实验条件的主效应显著($F(1, 50) = 13.07$, $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.21$), 转换条件的反应时($M = 1121$ ms $\pm$ 329 ms)显著长于重复条件($M = 1054 \pm 308$ ms)。被试类型和实验条件的交互作用不显著, $F(1, 50) = 0.04$, $p = 0.85$。此外, 还计算了被试在不同任务间的转换代价(switch cost)。转换代价越低, 代表认知灵活性越强。反应时的转换代价为转换条件与重复条件的反应时之差。t 检验表明, 铜鼓组($M = 79 \pm 121$ ms)与非铜鼓组($M = 64 \pm 147$ ms)的转换代价差异不显著, $t(50) = 0.19$, $p = 0.85$。

正确率的方差分析表明, 各种主效应和交互作用均不显著(all $ps > 0.1$)。正确率的转换代价为转换条件与重复条件的正确率之差。分析表明, 铜鼓组($M = -0.02 \pm 0.07$)与非铜鼓组($M = 0.002 \pm 0.03$)的转换代价差异不显著, $t(50) = 0.19$, $p = 0.23$。

3.3.4 小结

实验 2c 未发现铜鼓训练对鼓手转换能力的显著作用。这可能是由于当地铜鼓音乐主要以 2/4 节拍为基本节奏类型, 四面鼓的敲击节奏包括“单 1” “单 2” “花六” “花七” “花四 1”和“花四 2”等有限制的组合形式(邢磊, 2010)。所以, 并不要求鼓手即兴式发挥和自由转换, 却更考验鼓手的持续性注意能力和追踪能力。转换能力是在抑制控制和工作记忆基础上发展起来的认知灵活性功能(Diamond, 2013; 冯霞, 冯成志, 2022), 是一种在不同任务、多种思维模式或多个视角之间灵活切换的能力, 一般与问题解决和创造性思维有关。因此, 铜鼓音乐训练对鼓手的积极影响更多表现在抑制控制和工作记忆

方面, 对鼓手的转换能力没有显著的促进作用。

4 执行功能任务与节奏知觉任务的成绩的相关性

为了进一步探究执行功能与节奏知觉任务的关联, 分别计算了执行功能三个子成分与节奏知觉任务各项成绩的相关性(见图 4)。

分析发现, 铜鼓组在中等负荷更新任务的成绩与在中等知觉负荷任务的节奏知觉的成绩存在着显著的正相关(r = 0.44, p = 0.023), 但在非铜鼓组中, 这种相关不显著(r = 0.16, p = 0.42), 说明铜鼓组的工作记忆能力能够预测在节奏探测任务中的表现。铜鼓组的抑制控制能力也能够预测在节奏任务中的击中率成绩, 在不区分任务难度时, 铜鼓组的 Stroop 效应量与节奏变化的总击中率呈现显著的负相关(r = −0.45, p = 0.02), 但非铜鼓组的相关性效应不显著(r = 0.07, p = 0.74); 而在区分任务难度时, 铜鼓组在高任务难度下的相关性存在着显著差异(r = −0.45, p = 0.022), 但在中等难度任务下, 未达到显著水平(r = −0.3, p = 0.13)。非铜鼓组在两

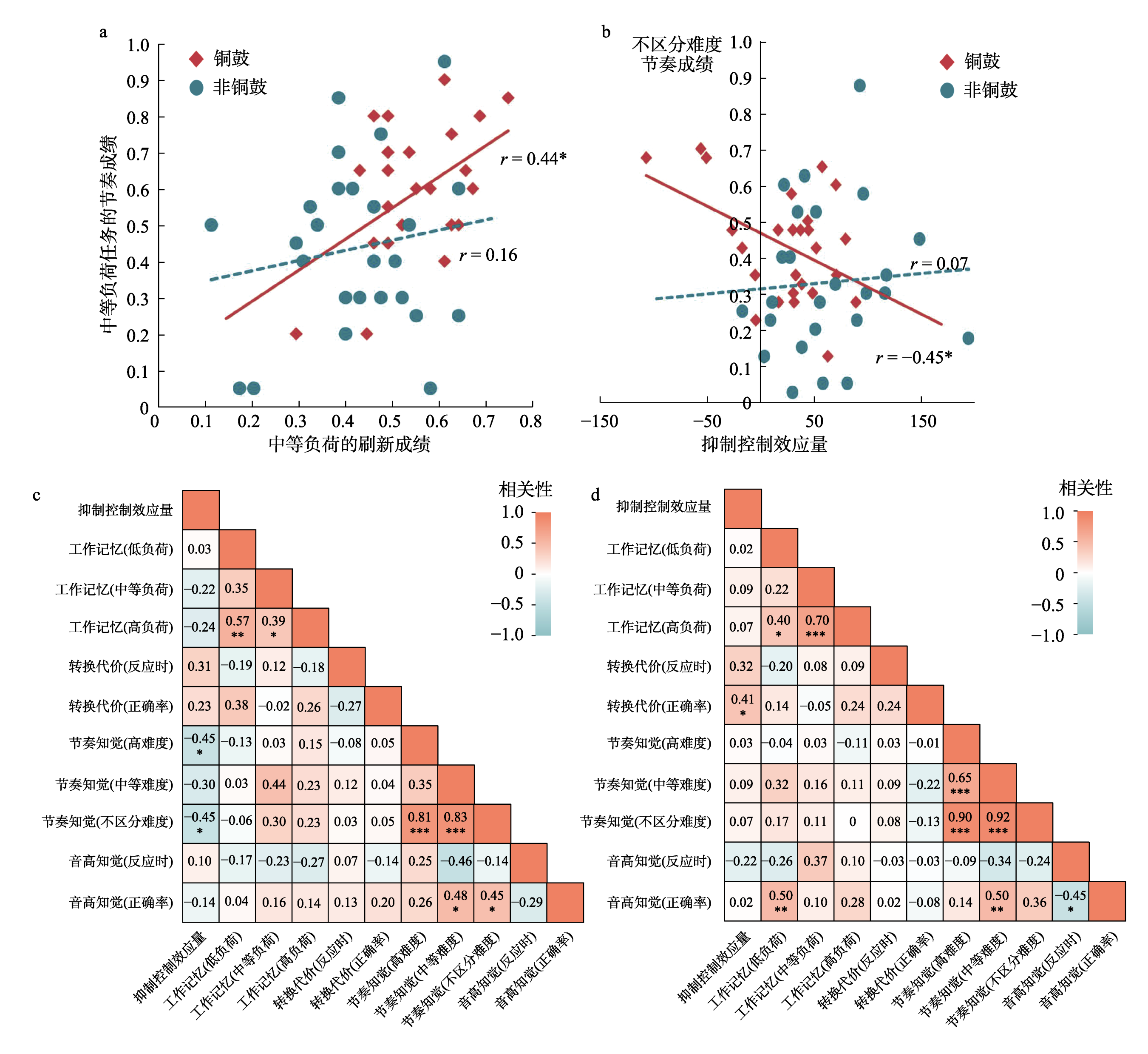


图 4　执行功能与音高知觉任务成绩和节奏知觉任务成绩的相关性

注: 图 4a 为中等负荷更新任务成绩与在中等知觉负荷任务的节奏知觉成绩的相关性检验结果图; 图 4b 为抑制控制效应量与节奏变化的总击中率的相关性检验结果图; 图 4c 为铜鼓训练组的执行功能三项任务成绩与节奏知觉任务各项成绩的相关系数热力图, 方格颜色代表相关程度, 方格中数字是相关系数; 图 4d 为非铜鼓训练组的执行功能三项任务成绩与节奏知觉任务各项成绩的相关系数热力图。显著性: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$。

种任务难度下均未达到显著水平($r_{高} = 0.03$, $p = 0.9$; $r_{中等} = 0.09$, $p = 0.65$)。两组被试的转换任务成绩对节奏任务的预测能力均不显著(all $ps > 0.1$)。采用同样方式分析执行功能与音高知觉的相关性，发现两组被试的执行功能三个子成分对音高任务的反应时和正确率的预测均不显著(all $ps > 0.1$)。以上结果说明，铜鼓音乐训练并不能够促进音乐才能和执行功能的所有子成分的全面改善，而是特异性地提高了音乐才能中的节奏感知能力和执行功能中的抑制控制和工作记忆能力。铜鼓组的工作记忆和抑制控制成绩与节奏知觉任务成绩有显著关联。根据节奏夹带理论，不断锤炼节奏感知能力能够通过提高时间加工精度方式影响高级认知功能(Miendlarzewska & Trost, 2014)。所以，铜鼓训练对工作记忆和抑制控制能力的促进效应可能与鼓手的节奏知觉能力提升密切相关。

5 讨论

本研究首次考察以“变奏”形式为主的铜鼓音乐经验对壮族鼓手的音乐知觉能力和执行功能的影响，发现铜鼓训练组对节奏变化的分辨力显著优于非铜鼓组，但两组被试的音高变化分辨力没有显著差异，说明长期铜鼓音乐训练使壮族鼓手的节奏感知能力得到了特异性的塑造与强化，同时也表明负责处理节奏和音高的听觉机制可能存在着功能分离。本研究还考察了铜鼓训练对执行功能各子成分的影响，发现铜鼓组在听觉抑制控制和工作记忆更新能力上存在优势，但在转换能力上与非铜鼓组被试没有显著差异，说明铜鼓训练不能提高执行功能的所有子成分，而是选择性地促进了抑制控制和工作记忆两种功能。下面就对铜鼓音乐训练如何提高鼓手的音乐才能和执行功能做些讨论。

5.1 铜鼓经验对节奏加工能力和音高加工能力的影响

以往研究发现，长期从事复杂的音乐训练提升对音高和节奏的加工能力并且引起了大脑结构和功能的可塑性变化(Bengtsson et al., 2005; Hyde et al., 2009)，如双侧颞横回灰质体积增大(Schneider et al., 2005)，听觉颞叶区处理音乐相关信息时间缩短(Lee & Noppeney, 2014)。东兰铜鼓音乐以丰富的“变奏”表演形式著称，在演奏中需要鼓手精准的节奏控制能力，掌握起来有很大难度。铜鼓组被试在节奏知觉任务中更容易分辨听觉序列中微小的时间变异，说明铜鼓音乐训练显著提高了鼓手的听觉系统对时序信息的精细化处理能力。动态注意理论认为，生物需要利用神经节律实现与外部动态世界的注意协调(Jones, 1976)，注意通过在时间上有节奏地和灵活地分配资源以达到对多个刺激序列的加工和表征。所以，节奏知觉的强化促进了对刺激序列中微小时间变异的觉察能力，提高了对时间知觉的敏锐度。

本研究表明，铜鼓训练效应未出现在音高知觉任务中。这说明，音高和节奏的加工机制可能存在着功能性分离，支持特征特异性假设(Albouy et al., 2020)的预言。证据显示，大脑左、右半球在处理频域特征和时域特征时不对称，右半球主要负责处理频域特征，左半球专门处理时域特征(Albouy et al., 2020; Zatorre et al., 2002)。音乐认知障碍研究表明，先天性失乐症(congenital amusia)患者存在音痴症状(tone deafness)，表现为不能感知旋律中音高变化以及对曲调记忆困难，却不影响节奏分辨能力(Foxton et al., 2006)；节律障碍(dysrhythmia)患者存在拍痴(beat deafness)症状，表现在身体同步动作或跟随音乐节拍困难，对节拍和音符时长感知能力差，但音高分辨能力却未受损(Phillips-Silver et al., 2011)。神经影像学证据显示，枕叶内侧、颞上叶和扣带回皮层吻侧部负责处理旋律信息，枕叶外侧、颞下皮层、左缘上回、左额下回和尾状核负责处理节奏信息(Bengtsson & Ullén, 2006)。尽管参与音高知觉和节奏知觉的脑区存在着差异，但并不代表二者的加工完全独立。除了涉及一些共享神经基础外，二者也存在相互作用(Jones et al., 2002, 2006; Lagrois & Peretz, 2019; Zhang et al., 2019)。例如，与有调性音乐比，无调性音乐显著降低节奏感知水平(Prince, 2014)；与无节奏目标音比，有节奏目标音提高音高分辨成绩(Chang et al., 2019)，说明在音乐中音高和节奏被视为相互交织的有机整体，音乐训练通常也是涵盖音高和节奏等多种音乐元素的系统工程。所以，本研究未发现铜鼓经验与音高知觉能力存在关联可能与这件传统乐器的“轻旋律而重节奏”的独特艺术形式有关。

不同乐器的学习和演奏对人体运动系统提出不同要求。Rüber 等人(2015)发现，键盘乐器和弓弦乐器的演奏家的右半球运动传导束的各向异性(fractional anisotropy)都高于非音乐家，但只有键盘演奏者的左半球运动传导束的各向异性高于非音乐家。这正是由于键盘乐器演奏家需要同时发展双手手指的精细化动作，弓弦乐器演奏家更侧重左

手的手指训练，所以白质束可塑性变化的半球差异反映出不同乐器演奏对特定运动技能的需求。对西洋乐器研究发现，不同器乐类型(包括打击乐、键盘乐和弓弦乐)演奏家在音高知觉和节奏知觉上存在加工优势(Cameron & Grahn, 2014)。但东兰铜鼓作为一件本土少数民族乐器，在学习和演奏中较少涉及旋律知识，更多地追求节奏的复杂多变。因此，铜鼓艺术的音乐特性可能是导致铜鼓训练的认知优势不具有跨领域普遍性的主要原因。

5.2　铜鼓经验对执行功能不同子成分的影响

抑制控制是克服外界刺激干扰的能力，对个体在从事目标任务过程中保持投入和专注极为重要。铜鼓组在抑制控制能力上存在优势，这与以往未区分音高和节奏的一般音乐训练研究基本吻合。无论是声乐歌唱家还是器乐演奏家，在听觉 Stroop 任务和视觉 Simon 任务的冲突条件下，反应时均显著快于非音乐家(Bialystok & DePape, 2009)。专业音乐家也比业余音乐爱好者更少受字/色 Stroop 效应干扰(Travis et al., 2011)，说明这一认知优势具有跨通道普遍性。东兰音乐铜鼓是四人既合奏又变奏的表演形式，非常考验鼓手间的密切配合。一般说来，与外界节律自动同步的节律夹带是人类的本能加工方式，所以很容易被同伴的节奏打乱而被迫趋于一致(Miendlarzewska & Trost, 2014)。然而，铜鼓击打方式不仅要求鼓手双手保持左手敲四下、右手敲一下的规律动作，还要与其他鼓手的节拍形成相互交错的音列。保证音序稳定的核心就是抑制其他鼓手的敲击节奏的干扰，因此长期铜鼓练习提高了处理冲突刺激的抑制控制能力。

抑制控制还可以进一步划分为反应控制和干扰控制，前者是指抑制不符合任务需要的反应的能力，后者是指克服外界干扰信息的能力(Harnishfeger, 1995)。研究者采用 Go/No-go 范式和 Stroop 范式考察这两种能力与音乐训练的关系，发现音乐家在 Go/No-go 任务中表现出更强的冲突监控和运动抑制能力，在 Stroop 任务中表现出更强的冲突控制能力(陈洁佳 等, 2020)。本研究虽未探讨反应抑制能力，但预期铜鼓组也应具有反应抑制优势，因为铜鼓演奏除了需要排除其他鼓手的干扰外，还要持续监控自己的打击效果，从而对击打动作进行及时调整。未来研究可以考察铜鼓音乐经验甚至其它民族打击乐训练经验对反应抑制的影响。

人类的工作记忆容量有限，需要用新信息替换掉与当前任务不再相关的旧信息。工作记忆更新是一种在短时间内快速储存并不断更新与修正的能力(Baddeley, 2000)。工作记忆更新对音乐演奏十分重要。一名好的视奏音乐家通常需要提前规划四个音符(Furneaux & Land, 1999)，必须时刻监控正在演奏的，移除已演奏完的，更新尚未演奏的音符信息。研究表明，在接受过系统音乐训练后，儿童(Degé et al., 2011; Schellenberg, 2011)、成人(D'Souza et al., 2018; Nutley et al., 2014)以及老年人(Amer et al., 2013)的工作记忆能力都得到了显著提高。铜鼓组在 N-back 任务中表现优于非铜鼓组。在铜鼓演奏中，鼓手同样需要规划自己的敲击节奏，在加工同伴的敲击节奏同时监控自己的敲击动作。因此，长期铜鼓训练提高了鼓手的工作记忆更新能力。

转换能力是指根据情景变化在不同认知任务或思维状态之间切换的能力，也称为认知灵活性(Miyake et al., 2000)。一般来说，转换能力越高，心理定势就越低，灵活性和创造力就越强。以往许多音乐训练研究都未发现与转换能力之间存在关联(陈杰 等, 2017; Gade & Schlemmer, 2021; Okada & Slevc, 2018; Slevc et al., 2016; 王婷 等, 2019)，却在双语者(Prior & MacWhinney, 2010)以及“各说各话”的景颇族人身上发现了认知转换能力优势(王婷 等, 2017)。这说明，转换能力本质上是在多种任务、操作或心理定势间来回切换的能力。音乐家在演奏中，始终演奏同一件乐器，一曲演奏通常也有相同的拍速和调式，只是按键或拨弦不同并不能被视为在不同任务间转换。因此，音乐训练并不影响转换能力。铜鼓训练与鼓手的转换能力之间不存在关联，这可能是因为铜鼓演奏的变奏“加花”具有一定规范性，不能毫无章法地即兴发挥，所以铜鼓训练没有锻炼转换能力，而是不断训练和强化鼓手的持续性注意能力和追踪能力。

总之，铜鼓经验对执行功能不同子成分的影响存在选择性。铜鼓组被试在节奏知觉任务中的成绩有效地预测抑制控制能力和工作记忆能力，这与 Slater 等人(2018)的研究结果一致，说明铜鼓音乐经验对执行功能的积极影响与节奏知觉水平提高存在很大关联。节奏知觉水平反映一个人对时序信息的提取能力和对微小时间变异的觉察能力，这些能力对执行功能在组织、计划和协调注意资源等方面尤为重要。神经影像学证据表明，认知、运动和时间处理都依赖于共享神经环路来协调神经活动和控制行为，小脑、基底节和皮层运动区共同负责参与节奏知觉和抑制控制(Akshoomoff, et al., 1997;

Allen et al., 1997; Graybiel, 1997; Kotz et al., 2009; Buschman & Miller, 2014)，说明节奏知觉和一些执行功能子成分的神经机制可能存在重叠。此外，节奏夹带理论假设，音乐训练提高执行功能的核心是节奏夹带能力被强化，通过提高提取复杂时序信息的速度和精度，将执行功能中有限注意资源和高级认知成分聚焦在与任务相关的时间维度上(Miendlarzewska & Trost, 2014)。本研究结果支持这一假设，发现铜鼓音乐经验对工作记忆和抑制控制能力的促进与鼓手的节奏知觉能力提升显著相关，证明不断锤炼节奏知觉能力能够促进高级认知功能发展。

5.3 东兰铜鼓音乐超越审美的功能价值

谈及民族文化艺术，人们更倾向探讨其审美属性。壮族铜鼓研究基本上也围绕铜鼓的铸造工艺和表演艺术等方面展开(汪宁生, 1978; 蒋廷瑜, 2000)，较少探析铜鼓音乐的超越审美的功能价值，如对铜鼓训练者认知功能的广泛影响。音乐适应论认为，音乐产生是自然选择的结果，对生存和繁衍具有重要适应意义(Darwin, 1871; Iversen, 2016)。壮族先民创造的铜鼓音乐文化，也是为了满足当地人的基本生活需要。考古学证据显示，铜鼓最初是炊具(汪宁生, 1978)，后来用于祭祀和祈福(蒋廷瑜, 2000)，铜鼓上的青蛙(蚂拐)饰物代表掌管雨水的雷婆女儿(见图 1b)。为了祈求丰收，东兰壮族每年都要举行“蚂拐节”祭祀青蛙，铜鼓演奏正是祭祀中的最重要环节，其对异步性和变化性的节奏形式追求就是在模仿“青蛙争鸣”的音响效果。可见，在铜鼓音乐中独具特色的节奏特征不仅满足了当地人的音乐审美需求，还具有超越审美价值的适应意义。铜鼓音乐经验具有促进认知发展的教育价值和功用。

5.4 铜鼓音乐的节奏经验是文化与认知交互作用的产物

社会文化因素对认知发展具有重要影响(Vygotsky, 1978)。不同民族的音乐感知和情绪加工能力存在差异，这与音乐曝光或音乐文化经验的濡化作用有关(孟乐 等, 2022)。但文化曝光并不足以提高个体的音乐才能和认知水平，要掌握类似于铜鼓音乐演奏的复杂技能，还需要投入长时间和高认知负荷的练习。因为认知参与被证明是音乐训练影响执行功能的关键因素，只有调配一定程度的注意资源，付出较高认知努力才能够掌握复杂技能，并且提高其它认知功能(Tomporowski et al., 2015)。铜鼓音乐演奏技能是具有一定心智挑战难度的音乐才能，需要征集多种认知功能广泛参与，所以长期铜鼓音乐训练极大地促进了认知功能发展。由于本研究未比较非铜鼓训练组与非当地人，或铜鼓训练组与其他文化的打击乐演奏家的节奏感知能力和执行功能差异，无法具体说明文化因素能够在多大程度上解释认知功能提高。但是，本研究结果依然证实铜鼓音乐训练对促进鼓手认知能力发展的积极效果，这对于保护与发掘壮族铜鼓文化的潜在价值功用具有重要意义。

5.5 研究展望与本研究的局限

自从 2004 年我国正式加入了联合国教科文组织《保护非物质文化遗产公约》以来(以下简称“非遗”)，各级政府和民间机构在保护“非遗”方面取得了显著成效，先后命名了五批国家级“非遗”名录，使具有重大历史、文学、艺术和科学价值的“非遗”项目得到了保护、发扬和传承。然而，随着社会转型和时代变迁，与“非遗”紧密相关的传统生产生活方式已经发生了深刻变化，尤其是互联网文化的迅猛发展，给传统民族文化带来了巨大冲击，使得包括壮族音乐铜鼓在内的许多“非遗”项目面临着与时代脱节、受众减少、传承困难的发展窘境。如何发掘传统民族文化在促进人、培养人和发展人上的积极价值，将成为保护乃至激发“非遗”活态性的有效方式。本研究通过实验揭示壮族铜鼓音乐经验在塑造音乐才能和强化执行功能的重要价值，为当地进一步开展铜鼓文化教育的实践提供了理论支撑。但是，与灿烂的中国民族文化比，目前关于民族文化功能的研究仍然匮乏。文化是人类对自然世界加工创造出来的又为人类继续生活的人文世界(费孝通, 2004)，它是一个地区一个时代民族性的最集中表现。所以，应当重视民族文化对民族认知和民族心理的影响，积极开展相关的实证研究。

本研究也存在局限性。本研究未比较其它民族的铜鼓文化。铜鼓是我国南方民族的艺术瑰宝，布依族、苗族、侗族、瑶族、水族和彝族等都具有独特的铜鼓文化，不同民族的铜鼓铸造工艺和铜鼓表演形式也存在差异(李昆声, 黄德荣, 1990; 万辅彬, 韦丹芳, 2018)。以往研究表明，节奏知觉不仅受生物学因素制约，还受文化因素调节。所以，铜鼓音乐的民族差异不能忽视。本研究选取东兰音乐铜鼓作为对象的主要原因是当地极负盛名的铜鼓演奏形式，而且东兰是全世界拥有传世铜鼓数量最多的地区，也是我国铜鼓艺术的典型代表。因此，本研究主要考察了该地区的音乐铜鼓传承人。未来研究

可以扩大样本的民族代表性, 深入挖掘铜鼓训练效应的民族文化差异。

6 结论

(1)铜鼓音乐训练显著提高鼓手的节奏感知能力, 但对音高加工能力没有显著促进作用。

(2)铜鼓音乐训练对执行功能各子成分的积极影响存在选择性。铜鼓训练组只在抑制控制和工作记忆能力上存在加工优势, 其转换能力与非铜鼓组并无显著差异。

(3)铜鼓音乐训练促进抑制控制和工作记忆能力与其显著提高节奏知觉能力有关, 符合节奏夹带理论的预言。

参 考 文 献

Akshoomoff, N. A., Courchesne, E., & Townsend, J. (1997). Attention coordination and anticipatory control. *International Review of Neurobiology, 41*, 575−598.

Albouy, P., Benjamin, L., Morillon, B., & Zatorre, R. J. (2020). Distinct sensitivity to spectrotemporal modulation supports brain asymmetry for speech and melody. *Science, 367*(6481), 1043−1047.

Alcock, K.J., Wade, D., Anslow, P., & Passingham, R.E. (2000). Pitch and timing abilities in adult left-hemisphere-dysphasic and right-hemisphere-damaged subjects. *Brain and Language, 75*(1), 47−65.

Allen, G., Buxton, R. B., Wong, E. C., & Courchesne, E. (1997). Attentional activation of the cerebellum independent of motor involvement. *Science, 275*(5308), 1940−1943.

Amer, T., Kalender, B., Hasher, L., Trehub, S.E., & Wong, Y. (2013). Do older professional musicians have cognitive advantages?. *PLoS ONE, 8*(8), e71630.

Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory. *Trends in Cognitive Sciences, 4*(11), 417−423.

Bailey, J. A., & Penhune, V. B. (2010). Rhythm synchronization performance and auditory working memory in early-and late-trained musicians. *Experimental Brain Research,* 204, 91−101.

Bengtsson, S. L., Nagy, Z., Skare, S., Forsman, L., Forssberg, H., & Ullén, F. (2005). Extensive piano practicing has regionally specific effects on white matter development. *Nature Neuroscience, 8*(9), 1148−1150.

Bengtsson, S. L., & Ullén, F. (2006). Dissociation between melodic and rhythmic processing during piano performance from musical scores. *Neuroimage, 30*(1), 272−284.

Bialystok, E., & DePape, A. M. (2009). Musical expertise, bilingualism, and executive functioning. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 35*(2), 565−574.

Buschman, T. J., & Miller, E. K. (2014). Goal-direction and top-down control. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 369*(1655), 20130471.

Cameron, D. J., & Grahn, J. A. (2014). Enhanced timing abilities in percussionists generalize to rhythms without a musical beat. *Frontiers in Human Neuroscience, 8*, 1003.

Carlson, S. M., Zelazo, P. D., & Faja, S. (2013). Executive function. In P. D. Zelazo (Ed.), *The Oxford handbook of developmental psychology (Vol. 1): Body and mind* (pp. 706−743). Oxford University Press.

Chang, A., Bosnyak, D. J., & Trainor, L. J. (2019). Rhythmicity facilitates pitch discrimination: Differential roles of low and high frequency neural oscillations. *NeuroImage, 198*, 31−43.

Chen, J. J., Zhou, Y., & Chen, J. (2020). The relationship between musical training and inhibitory control: An ERPs study. *Acta Psychologica Sinica, 52*(12), 1365−1376.

[陈洁佳, 周翊, 陈杰. (2020). 音乐训练与抑制控制的关系: 来自 ERPs 的证据. *心理学报, 52*(12), 1365−1376.]

Chen, J., Liu, L., Wang, R., & Shen, H. Z. (2017). The effect of musical training on executive functions. *Advances in Psychological Science, 25*(11), 1854−1864.

[陈杰, 刘雷, 王蓉, 沈海洲. (2017). 音乐训练对执行功能的影响. *心理科学进展, 25*(11), 1854−1864.]

Clayton, M., Sager, R., & Will, U. (2004). In time with the music: The concept of entrainment and its significance for ethnomusicology. *Esem Counterpoint, 1*, 1−84.

Cohen J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). L. Erlbaum Associates.

Darwin, C. (1871). *The descent of man.* New York: D. Appleton.

Degé, F., Kubicek, C., & Schwarzer, G. (2011). Music lessons and intelligence: A relation mediated by executive functions. *Music Perception, 29*(2), 195−201.

Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology, 64*(1), 135−168.

D'Souza, A. A., Moradzadeh, L., & Wiseheart, M. (2018). Musical training, bilingualism, and executive function: working memory and inhibitory control. *Cognitive Research: Principles and Implications, 3*(1), 1−18.

Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A. G., & Buchner, A. (2007). G*power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods, 39*(2), 175−191.

Fei, X. T. (2004). Reflections on the historical and social characteristics of culture. *Thinking*, (2), 1−6.

[费孝通. (2004). 对文化的历史性和社会性的思考. *思想战线*, (2), 1−6.]

Feng, X., & Feng, C. Z. (2022). The effect of cognitive flexibility on probabilistic category learning. *Acta Psychologica Sinica, 54*(11), 1340−1353.

[冯霞, 冯成志. (2022). 认知灵活性对概率类别学习的影响. *心理学报, 54*(11), 1340−1353.]

Fitch. W. T. (2012). The biology and evolution of rhythm: Unravelling a paradox. In P. Rebuschat, M. Rohrmeier, J. A. Hawkins, & I. Cross (Eds.), *Language and music as cognitive systems.* Oxford University Press.

Foxton, J. M., Nandy, R. K., & Griffiths, T. D. (2006). Rhythm deficits in 'tone deafness'. *Brain and Cognition, 62*(1), 24−29.

Friedman, N. P., & Miyake, A. (2017). Unity and diversity of executive functions: Individual differences as a window on cognitive structure. *Cortex, 86*, 186−204.

Fujii, S., & Wan, C. Y. (2014). The role of rhythm in speech and language rehabilitation: The SEP hypothesis. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 777.

Furneaux, S., & Land, M. F. (1999). The effects of skill on the eye-hand span during musical sight-reading. *Proceedings of the Royal Society B, 266*, 2435−2440.

Gade, M., & Schlemmer, K. (2021). Music modulates cognitive flexibility? An investigation of the benefits of musical training on markers of cognitive flexibility. *Brain*

Sciences, 11(4), 451−451.
Grahn, J. A. (2012). Neural mechanisms of rhythm perception: Current findings and future perspectives. *Topics in Cognitive Science, 4*(4), 585−606.
Graybiel, A. M. (1997). The basal ganglia and cognitive pattern generators. *Schizophrenia Bulletin, 23*(3), 459−469.
Greenberg, S., Carvey, H., Hitchcock, L., & Chang, S. (2003). Temporal properties of spontaneous speech—a syllable-centric perspective. *Journal of Phonetics, 31*(3-4), 465−485.
Hanna-Pladdy, B., & MacKay, A. (2011). The relation between instrumental musical activity and cognitive aging. *Neuropsychology, 25*(3), 378−386.
Hamilton, A. (2011). II—Rhythm and stasis: A major and almost entirely neglected philosophical problem. In: W. Blackwel(ed.). *Proceedings of the Aristotelian Society (Hardback)* (111(1), pp.25−42). Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd.
Harnishfeger, K. K. (1995). The development of cognitive inhibition: Theories, definitions, and research evidence. In : F. N. Dempster(ed.). *Interference and inhibition in cognition* (pp. 175−204). Academic Press.
He, H. (1994). Theory of bronze drum music. *National Art*, (4), 136−152.
[何洪. (1994). 铜鼓乐论. *民族艺术*, (4), 136−152.]
He, L., Zhuang, K., Chen, Q., Wei, D., Chen, X., Fan, J., & Qiu, J. (2021). Unity and diversity of neural representation in executive functions. *Journal of Experimental Psychology: General, 150*(11), 2193−2207.
Honing, H., Ladinig, O., H´aden, G. P., & Winkler, I. (2009). Is beat induction innate or learned? Probing emergent meter perception in adults and newborns using event-related brain potentials. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1169*, 93−6.
Hyde, K. L., Lerch, J., Norton, A., Forgeard, M., Winner, E., Evans, A. C., & Schlaug, G. (2009). Musical training shapes structural brain development. *Journal of Neuroscience, 29*(10), 3019−3025.
Iversen, J. R. (2016). In the beginning was the beat: Evolutionary origins of musical rhythm in humans. In: R.Hartenberger(ed.). *The Cambridge Companion to Percussion*(pp.281−295). Cambridge University Press.
Lagrois, M. É., & Peretz, I. (2019). The co-occurrence of pitch and rhythm disorders in congenital amusia. *Cortex, 113*, 229−238.
Jacoby, N., & McDermott, J. H. (2017). Integer ratio priors on musical rhythm revealed cross-culturally by iterated reproduction. *Current Biology, 27*(3), 359−370.
Jiang, T. Y. (2000). A century of bronze drum research. *Ethnic Studies*, (1), 7−37.
[蒋廷瑜. (2000). 铜鼓研究一世纪. *民族研究*, (1), 7−37.]
Jones, M. R. (1976). Time, our lost dimension: toward a new theory of perception, attention, and memory. *Psychological Review, 83*(5), 323−355.
Jones, M. R., Moynihan, H., MacKenzie, N., & Puente, J. (2002). Temporal aspects of stimulus-driven attending in dynamic arrays. *Psychological Science, 13*(4), 313−319.
Jones, M. R., & Boltz, M. (1989). Dynamic attending and responses to time. *Psychological Review, 96*(3), 459−491.
Jones, M. R., Johnston, H. M., & Puente, J. (2006). Effects of auditory pattern structure on anticipatory and reactive attending. *Cognitive Psychology, 53*(1), 59−96.
Kang, J. M. (2003). Human circadian rhythm and musical rhythm. *Music of China*, (3), 104−105.
[康健民. (2003). 人体生理节律与音乐节律. *中国音乐*, (3), 104−105.]
Kirschner, S., & Ilari, B. (2014). Joint drumming in Brazilian and German preschool children: Cultural differences in rhythmic entrainment, but no prosocial effects. *Journal of Cross-Cultural Psychology, 45*(1), 137−166.
Kotz, S. A., Ravignani, A., & Fitch, W. T. (2018). The evolution of rhythm processing. *Trends in Cognitive Sciences, 22*(10), 896−910.
Kotz, S. A., Schwartze, M., & Schmidt-Kassow, M. (2009). Non-motor basal ganglia functions: A review and proposal for a model of sensory predictability in auditory language perception. *Cortex, 45*(8), 982−990.
Krumhansl, C. L. (2000). Rhythm and pitch in music cognition. *Psychological Bulletin, 126*(1), 159−179.
Lappe, C., Trainor, L. J., Herholz, S. C., & Pantev, C. (2011). Cortical plasticity induced by short-term multimodal musical rhythm training. *PloS One, 6*(6), e21493.
Large, E. W., & Jones, M. R. (1999). The dynamics of attending: How people track time-varying events. *Psychological Review, 106*(1), 119−159.
Lee, H., & Noppeney, U. (2014). Music expertise shapes audiovisual temporal integration windows for speech, sinewave speech, and music. *Frontiers in Psychology, 5*, 868.
Li, K. S., Huang, D. R. (1990). On Wanjiba type bronze drum. *Archaeology*, (5), 459−466.
[李昆声, 黄德荣. (1990). 论万家坝型铜鼓. *考古*, (5), 459−466.]
Matthews, T. E., Thibodeau, J. N., Gunther, B. P., & Penhune, V. B. (2016). The impact of instrument-specific musical training on rhythm perception and production. *Frontiers in Psychology, 7*, 69.
Meng, L., Zhang, J. J., & Li, J. Y. (2022). The advantages of Uygur's music perception and music emotional processing: Enrichment of music exposure and music cultural experience. *Chinese Journal of Clinical Psychology, 30*(2), 241−249.
[孟乐, 张积家, 李金亚. (2022). 维吾尔族大学生的音乐感知和音乐情绪加工优势: 音乐曝光和音乐文化经验的濡化作用. *中国临床心理学杂志, 30*(2), 241−249.]
Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology, 41*(1), 49−100
Miendlarzewska, E. A., & Trost, W. J. (2014). How musical training affects cognitive development: Rhythm, reward and other modulating variables. *Frontiers in Neuroscience, 7*, 279.
Miller, J. E., Carlson, L. A., & McAuley, J. D. (2013). When what you hear influences when you see: Listening to an auditory rhythm influences the temporal allocation of visual attention. *Psychological Science, 24*(1), 11−18.
Moreno, S., Bialystok, E., Barac, R., Schellenberg, E. G., Cepeda, N. J., & Chau, T. (2011). Short-term music training enhances verbal intelligence and executive function. *Psychological Science, 22*(11), 1425−1433.
Nasreddine, Z. S., Phillips, N. A., Bédirian, V., Charbonneau, S., Whitehead, V., Collin, I., ... Chertkow, H. (2005). The Montreal Cognitive Assessment, MoCA: A brief screening tool for mild cognitive impairment. *Journal of the American Geriatrics Society, 53*(4), 695−699.
Nutley, S. B., Darki, F., & Klingberg, T. (2014). Music practice is associated with development of working memory during childhood and adolescence. *Frontiers in*

Human Neuroscience, 7, 926.

Okada, B. M., & Slevc, L. R. (2018). Individual differences in musical training and executive functions: A latent variable approach. *Memory & Cognition, 46*(7), 1076−1092.

Ouyang, Y., & Dai, Z. Q. (2010). A review on cognitive research of music meter. *Advances in Psychological Science*, *18*(11), 1692−1699.

[欧阳玥，戴志强．(2010)．音乐节拍认知的研究评述．*心理科学进展*, *18*(11), 1692−1699.]

Pallesen, K. J., Brattico, E., Bailey, C. J., Korvenoja, A., Koivisto, J., Gjedde, A., & Carlson, S. (2010). Cognitive control in auditory working memory is enhanced in musicians. *PLoS ONE, 5*(6), e11120.

Peelle, J. E., & Davis, M. H. (2012). Neural oscillations carry speech rhythm through to comprehension. *Frontiers in Psychology, 3*, 320.

Phillips-Silver, J., Toiviainen, P., Gosselin, N., Piché, O., Nozaradan, S., Palmer, C., & Peretz, I. (2011). Born to dance but beat deaf: A new form of congenital amusia. *Neuropsychologia, 49*(5), 961−969.

Pinho, A. L., de Manzano, Ö., Fransson, P., Eriksson, H., & Ullén, F. (2014). Connecting to create: Expertise in musical improvisation is associated with increased functional connectivity between premotor and prefrontal areas. *Journal of Neuroscience, 34*(18), 6156−6163.

Prince, J. B. (2014). Pitch structure, but not selective attention, affects accent weightings in metrical grouping. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 40*(5), 2073.

Prior, A., & MacWhinney, B. (2010). A bilingual advantage in task switching. *Bilingualism: Language and Cognition, 13,* 253−262.

Repp, B. H. (2010). Sensorimotor synchronization and perception of timing: Effects of music training and task experience. *Human Movement Science, 29*(2), 200−213.

Repp, B. H., & Doggett, R. (2007). Tapping to a very slow beat: A comparison of musicians and nonmusicians. *Music Perception, 24*(4), 367−376.

Rogers, R. D., & Monsell, S. (1995). Costs of a predictable switch between simple cognitive tasks. *Journal of Experimental Psychology: General, 124*(2), 207−231.

Rüber, T., Lindenberg, R., & Schlaug, G. (2015). Differential adaptation of descending motor tracts in musicians. *Cerebral cortex, 25*(6), 1490−1498.

Savage, P. E., Brown, S., Sakai, E., & Currie, T. E. (2015). Statistical universals reveal the structures and functions of human music. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 112*(29), 8987−8992.

Schellenberg, E. G. (2011). Examining the association between music lessons and intelligence. *British Journal of Psychology, 102*(3), 283−302.

Schneider, P., Sluming, V., Roberts, N., Scherg, M., Goebel, R., Specht, H. J., ... Rupp, A. (2005). Structural and functional asymmetry of lateral Heschl's gyrus reflects pitch perception preference. *Nature Neuroscience, 8*(9), 1241−1247.

Seinfeld, S., Figueroa, H., Ortiz-Gil, J., & Sanchez-Vives, M. V. (2013). Effects of music learning and piano practice on cognitive function, mood and quality of life in older adults. *Frontiers in Psychology,* (4), 810.

Slater, J., Ashley, R., Tierney, A., & Kraus, N. (2018). Got rhythm? Better inhibitory control is linked with more consistent drumming and enhanced neural tracking of the musical beat in adult percussionists and nonpercussionists. *Journal of Cognitive Neuroscience, 30*(1), 14−24.

Slevc, L. R., Davey, N. S., Buschkuehl, M., & Jaeggi, S. M. (2016). Tuning the mind: Exploring the connections between musical ability and executive functions. *Cognition,* 152, 199−211.

Smith, J. (1983). Reproduction and representation of musical rhythms: The effects of musical skill. In: J. A. Sloboda(ed.). *The Acquisition of Symbolic Skills*(pp.273−282). Springer.

Tomporowski, P. D., Lambourne, K., and Okumura, M. S. (2011). Physical activity interventions and children's mental function: an introduction and overview. *Prev. Med.* 52(Suppl. 1), S3–S9.doi: 10.1016 / j.ypmed. 2011. 01.028

Travis, F., Harung, H. S., & Lagrosen, Y. (2011). Moral development, executive functioning, peak experiences and brain patterns in professional and amateur classical musicians: Interpreted in light of a Unified Theory of Performance. *Consciousness and Cognition, 20*(4), 1256−1264.

Thaut, M. H., Trimarchi, P. D., & Parsons, L. M. (2014). Human brain basis of musical rhythm perception: Common and distinct neural substrates for meter, tempo, and pattern. *Brain Sciences, 4*(2), 428−452.

Vygotsky, L.S. (*1978*). *Mind in society: The development of higher mental processes*. Harvard University Press, Cambridge.

Wan, F.B. Wei, D.F. (2018). *Bronze drum research in Southeast Asia*. Beijing: Science and Technology Press of China, 2018.

[万辅彬，韦丹芳. (2018). *东南亚铜鼓研究*. 北京：中国科学技术出版社, 2018.]

Wang, N. S. (1978). On ancient Chinese Bronze drum. *Acta Archaeologica Sinica,* (2), 159−192.

[汪宁生．(1978)．试论中国古代铜鼓．*考古学报*, (2), 159−192.]

Wang, T. Y., & Feng, S. Z. (2017). Current situations and challenges of evolutionary musicology. *Advances in Psychological Science, 25*(11), 1831−1843.

[王天燕，冯圣中．(2017)．进化音乐学的现状及挑战．*心理科学进展, 25*(11), 1831−1843.]

Wang, T., Zhi, F. Y., Lu, Y. T., & Zhang, J. J. (2019). Effect of Dong Chorus on the executive function of Dong high school students. *Acta Psychologica Sinica, 51*(9), 1040−1056.

[王婷，植凤英，陆禹同，张积家．(2019)．侗歌经验对侗族中学生执行功能的影响．*心理学报, 51*(9), 1040−1056.]

Wang, T., Wang, D., Zhang, J. J., & Cui, J. A. (2017). Effects of "each speaks their own dialect" phenomenon on the executive function of Jingpo students. *Acta Psychologica Sinica, 49*(11), 1392−1403.

[王婷，王丹，张积家，崔健爱. (2017). "各说各话"的语言经验对景颇族大学生执行功能的影响．*心理学报*, *49*(11), 1392−1403.]

Xiao, M. (2016). Systematic research on Chinese traditional music "music language". *Music of China,* (3), 80−92.

[萧梅．(2016)．中国传统音乐"乐语"系统研究．*中国音乐,* (3), 80−92.]

Xing, L. (2010). Research on Zhuang Bronze drum music − − Taking Donglan Bronze Drum Music as an example. *Gehai*, (5), 31−33.

[邢磊．(2010)．壮族铜鼓音乐研究——以东兰铜鼓音乐为例. *歌海*, (5), 31−33.]

Yan, C. Q., & Tong, Z. L. (2006). *The course of basic music theory* (2nd ed.). Beijing: People's Music Publishing House.

[晏成佺，童忠良．(2006)．*基本乐理教程* (第 2 版)．北京：人民音乐出版社.]

Zatorre, R. J., Belin, P., & Penhune, V. B. (2002). Structure

and function of auditory cortex: Music and speech. *Trends in Cognitive Sciences, 6*(1), 37−46.

Zentner, M., & Eerola, T. (2010). Rhythmic engagement with music in infancy. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 107*(13), 5768−5773.

Zhang, J., Che, X., & Yang, Y. (2019). Event-related brain potentials suggest a late interaction of pitch and time in music perception. *Neuropsychologia, 132,* 107118.

Effect of bronze drum training on rhythm perception and executive function of Zhuang drummers

ZHANG Hang[2], WANG Ting[3], FENG Xiaohui[2], WEI Yiping[1], ZHANG Jijia[1]

([1] *Faculty of Education, Guangxi Normal University, Guilin* 514004, *China*)

([2] *Department of Psychology, Renmin University of China, Beijing* 100872, *China*)

([3] *New Era International Communication Research Institute, Renmin University of China, Beijing* 100872, *China*)

Abstract

Rhythm, as the temporal variation in a sequence of sounds, plays a crucial role in understanding musical melodies and speech patterns. Previous research has shown that musicians exhibit superior abilities in processing music-related and unrelated information and show advantages in executive function. However, the specific component of musical training (pitch or rhythm) that yields these benefits remains unclear, largely due to the intertwined nature of pitch and rhythm training. This study seeks to understand the impact of exclusive rhythmic training on cognitive abilities, leveraging the unique opportunity provided by Zhuang drummers who have undergone bronze drum training without any formal melodic training.

The bronze drum is the artistic treasure of Zhuang nation.As a unique form of local instrumental music performance, Donglan bronze drum music pursues the asynchronicity and variability of rhythm, and has more characteristics than the music art synchronized with the collective, which requires a higher level of rhythm perception. The most distinctive feature of Donglan bronze drum music is the rich rhythm changes, which fully reflects the superb skill level of the players. Therefore, long-term bronze drum training may promote the drummer's music perception and higher cognitive function development.

We conducted six experiments involving 52 participants from Lan Yang, a small town in Guangxi Province's Donglan County. Among them, 26 individuals [Mean age = 49.88 ± 15.98 years] had long-term bronze drum training but no other musical training, while the other 26 [Mean age = 47.77 ± 12.62 years] had no music training at all. Participants underwent tasks in rhythmic and pitch change detection, combined rhythmic-pitch change detection, pitch-based auditory Stroop, auditory n-back tasks, and a cued alternating runs switching task.

The results indicated that the Zhuang bronze drummers exhibited superior rhythm perception compared to the control group, with no discernable difference in pitch perception, suggesting the bronze drum training may enhance auditory temporal fine-tuning. Regarding executive functions, the drummers outperformed the control group in inhibitory control and working memory updating. However, rhythm perception was unrelated to switching performance, aligning with the “Unity and Diversity of Executive Functions” hypothesis that expertise in rhythm perception doesn't uniformly improve all cognitive abilities.

This study demonstrates that the rhythmic perception ability of Zhuang bronze drummers is an interplay of cognitive factors and Zhuang musical culture exposure. The long-term bronze drum training significantly enhances rhythm perception and certain executive functions, revealing the non-aesthetic value of bronze drum performance. The unique “variation rhythm” style may have originated from the imitation of “frogs clamour”, a feature of the local bronze drum music culture.

Keywords Rhythm, Bronze drum musical culture of Zhuang, Executive function, Rhythmic entrainment